

PROTOCOLO DE KIOTO. SITUACIÓN DE PARTIDA Y EFECTOS SOBRE LOS COSTES DE LAS EMPRESAS ESPAÑOLAS DESDE DIFERENTES PERSPECTIVAS DE CAMBIO TECNOLÓGICO

Anna Tena Tarruella

Profesora de Economía Financiera y Contabilidad. Universidad de Lleida

RESUMEN

El presente trabajo tiene como finalidad analizar las implicaciones que supone en los costes de las empresas el hecho de cumplir con las limitaciones de emisiones marcadas por el Protocolo de Kioto.

Para ello planteamos una función de coste en la que incluimos la variable nivel de emisiones y bajo el supuesto de diferentes alternativas en cuanto a desarrollo tecnológico y mercado de derechos de emisión.

La principal conclusión que se obtienen es que el cambio tecnológico es la pieza fundamental del coste que implica Kioto, ya que además de permitir una reducción en el volumen de emisiones, provoca cambios en la composición de los diferentes *inputs*.

PALABRAS CLAVE: Mercado de emisiones, Derechos de emisión, Costes medioambientales, Función de costes, Cambio tecnológico, Elasticidad.

ABSTRACT

The present work seeks to analyze the implications that it supposes in the costs of the companies the fact of fulfilling the commitments of marked emissions for the Kyoto Protocol.

For this reason we propose a cost function in which we include the variable level of emissions and under the supposition of different alternative as for technological progress and emissions trading permits.

The main conclusions that is obtained is that the technological change is the fundamental key of the cost that Kyoto implies, since besides allowing an abatement in the volume of emissions, it causes changes in the composition of the different inputs.

KEY WORDS: Emissions trading, Emission permits, Environmental costs, Costs function, Technological change, Elasticity.

1. INTRODUCCIÓN

A partir de la aplicación del protocolo de Kioto y como consecuencia de la puesta en marcha del comercio internacional de derechos de emisión previsto en marzo de 2005, las empresas europeas deben afrontar un nuevo reto. Las empresas están obligadas a cumplir con una responsabilidad medioambiental. Esta responsabilidad, sin lugar a dudas, implica costes económicos pero también puede suponer ventajas competitivas que a largo plazo se transforman en beneficios.

El problema de gestión surgirá cuando las empresas deban decidir que política medioambiental adoptar para hacer frente a una serie de obligaciones que hasta el momento eran inexistentes. Una posibilidad será reducir el volumen de emisiones modificando sus procesos productivos o utilizando

procesos más limpios e incluso reduciendo el volumen de actividad. Otra opción consistirá en la adquisición de derechos de emisión a otras empresas que no lleguen a los límites fijados. En todo caso, es la gestión interna de la empresa quien debe valorar cada una de estas actitudes en términos de coste.

Por ello, nuestro objetivo es el de analizar las implicaciones en los costes de las empresas de cualquiera de las decisiones adoptadas: reducción de emisiones vía innovación; o adquisición de derechos. Para ello planteamos una función de coste bajo el supuesto de diferentes alternativas en cuanto a desarrollo tecnológico y mercado de derechos de emisión.

El trabajo se estructura en los siguientes apartados:

En los apartados 2 y 3 hemos intentado recoger el estado actual del Protocolo, con el fin de conocer cuál es la situación de partida en el momento de iniciarse el comercio de derechos de emisión. Así, hemos tratado de delimitar en qué consiste el mercado de derechos de emisión, indicando sus principales características y como está regulado, y finalmente, viendo como se estructuran y en que situación se encuentran los planes de asignación de derechos, incidiendo específicamente en el PNA español.

Posteriormente en el apartado 4 se hace una revisión de cuáles son los principales estudios orientados a cuantificar los costes de aplicación del Protocolo, haciendo un énfasis especial en la importancia que supone el cambio tecnológico a la hora de valorar tales efectos. En el apartado 5 realizamos la propuesta del modelo teórico del cálculo de costes que implica la entrada en vigor de Kioto sobre los diferentes sectores empresariales. Este cálculo se propone cuantificar el coste que deben afrontar las empresas por el hecho de lanzar sus emisiones a la atmósfera. Para ello tenemos en cuenta diferentes precios de emisiones en función de las diferentes situaciones de mercado y según diferentes alternativas de desarrollo tecnológico, así llegamos a calcular de que forma este coste repercute en los costes generales de las empresas. Por último finalizamos el trabajo con las principales conclusiones.

2. ESTADO DE LA CUESTIÓN

El Protocolo de Kioto, aprobado en diciembre de 1997, y ratificado por la UE en abril del 2003, establece el objetivo de reducir las emisiones de gases de efecto invernadero¹ (GEI) en los países industrializados un 5,2% de media por debajo de los niveles de 1990 y afrontar, de esa forma, la amenaza del cambio climático. Este objetivo debe alcanzarse en el promedio de las emisiones que se realicen en el período 2008-2012. La UE se compromete a reducir sus emisiones, en promedio, un 8% por debajo de los niveles de 1990 y España se compromete a no aumentar sus emisiones más allá de un 15% con respecto a las emisiones de 1990.

Paralelamente, para poder alcanzar este reto, el Protocolo de Kioto incorpora tres instrumentos de política internacional, los llamados mecanismos de Kioto, se trata de unos mecanismos flexibles que permitirán a los países que lo ratifiquen alcanzar sus compromisos a unos menores costes. El objetivo es que el uso de estos mecanismos permita una reducción de emisiones a un menor coste que el coste marginal de reducción de emisiones propio de la empresa o gobierno, dichos instrumentos son:

- Comercio internacional de emisiones (CEI)
- Implantación conjunta (IC)
- Mecanismo de desarrollo limpio (MDL)

El CEI permitirá intercambiar, entre los países comprometidos a alcanzar un cierto nivel de emisiones, parte de los niveles permitidos de emisiones nacionales que se les han asignado (metas). Esto implica que los países con elevados costos marginales de descontaminación puedan adquirir unidades de reducción de emisiones de países con bajos costes marginales.

Los otros dos mecanismos se refieren a proyectos internacionales específicos en que un país invierte en otro produciendo una reducción de emisiones, que contabiliza a favor del primero. La IC permitirá a los países con limitación de emisiones intercambiar unidades de reducción entre sí, proyecto por proyecto. En el caso de MDL, el receptor es un país en vías de desarrollo, que de esta manera obtiene financiación adicional y tecnología para proyectos destinados al desarrollo sostenible y a la reducción de sus emisiones. En contrapartida el país desarrollado añadirá a su cantidad atribuida la reducción de emisiones certificada.

En referencia al CEI y para poder cumplir con el objetivo de reducir las emisiones, la Unión Europea y sus Estados miembros han aprobado la Directiva 2003/87/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 13 de octubre de 2003, por la que se establece un régimen para el comercio de derechos de emisión de GEI en la Comunidad y que según las previsiones se pondrá en marcha durante el año 2005. De esa forma, la directiva pretende contribuir a que se cumplan en mayor medida los compromisos adquiridos, mediante un mercado europeo de derechos de emisión de gases de efecto invernadero eficaz en relación con el coste y económicamente eficiente y con el menor perjuicio posible para el desarrollo económico y la situación del empleo en aquellos sectores más intensivos en el uso de energía². Ello es compatible con la existencia de un mercado global con terceros países, ya que, en el desarrollo de su texto la directiva no impide a los Estados miembros mantener o establecer regímenes nacionales e internacionales de comercio de derechos de emisión de GEI.

Este mercado en un principio impondrá un coste inicial moderado para la industria y lo irá aumentando a lo largo de la década, esto permitirá que en los próximos 4 ó 5 años se pueda ir reduciendo las emisiones sin incurrir en sobrecostes importantes por la compra de permisos de emisión a agentes de otros países.

Para poder aplicar la limitación de GEI que corresponde a cada uno de los países que integran la UE, la Directiva 2003/87/CE establece que cada uno de ellos, está obligado a presentar un plan nacional de asignación (PNA) que determine la cantidad total de derechos de emisión³ que prevé asignar, así como el procedimiento de asignación. Además cada PNA debe basarse en criterios objetivos y transparentes. Siendo la situación actual de presentación de los diferentes planes la siguiente:

Cuadro 1
Grado de presentación de los Planes Nacionales de Asignación de Emisiones Contaminantes. Octubre 2004

Países	Situación actual	Países	Situación actual	Países	Situación actual
Alemania	Ap.	Finlandia	Ap.	Luxemburgo	Ap.
Austria	Ap.	Francia	No	Malta	No
Bélgica	Bor.	Grecia	No	Polonia	No
Chipre	No	Holanda	Ap.	Portugal	Bor.
Dinamarca	Ap.	Hungría	No	Reino Unido	Ap.
Eslovaquia	No	Irlanda	Ap.	Rep. Checa	No
Eslovenia	Ap.	Italia	Bor.	Suecia	Ap.
España	Ap.	Letonia	Bor.		
Estonia	Bor.	Lituania	Ap.		
Ap. Aprobada la versión definitiva Bor. Han presentado borrador No. No han presentado el plan					

Fuente: elaboración propia a partir de <http://www.miliarium.com>

Frente a esta situación la Comisión está a la espera de hacer una valoración global de estos planes y ha sido necesario demorar la puesta en marcha del comercio de emisiones hasta el 1 de marzo del año 2005. Como consecuencia de este retraso las empresas comercian con los derechos de emisión a través de contratos de futuro.

3. AFECTACIÓN A LAS EMPRESAS EN ESPAÑA

En el caso español, la asignación de estos derechos se ha realizado de forma individual para cada una de las empresas que pertenecen a los seis sectores regulados por la Directiva europea. A partir de 2005 estas empresas deben afrontar una nueva situación ya que ven limitadas sus emisiones de CO₂. En el cuadro siguiente se detalla como se ha estructurado el reparto de derechos por actividades para el periodo 2005-2007.

Cuadro 2. Reparto de derechos por actividades

SECTOR	1990	2000	2001	2002	PROMEDIO 2000-2002		Peticiones sectoriales 2006	Asignaciones 2006			Grado de cobertura/ Peticiones (%)
	Mill.Tm CO ₂	PM/90 %		Sin reserva (A)	Reserva (B)	Total (A+B)					
Generación eléctrica	61,61	86,77	81,26	95,95	87,99	42,82	92,40	84,56	1,84	86,40	93,51
Refino de petróleo	12,64	15,25	14,99	14,86	15,03	18,94	16,57	15,25	0,72	15,97	96,39
Siderurgia	13,83	1079	10,74	10,85	10,79	-21,96	12,30	11,23	0,71	11,94	97,07
Cal	21,14	24,99	25,68	26,58	25,75	21,81	30,08	27,25	1,25	28,50	94,73
Cemento	1,58	2,09	2,08	2,20	2,12	34,69	2,74	2,28	0,16	2,44	89,15
Cemento y Cal	22,72	27,08	27,76	28,78	27,87	22,71	32,82	29,54	1,40	30,94	94,27
Ladrillos y Tejas	3,89	5,02	5,34	5,51	5,29	35,84	5,98	5,55	0,08	5,64	94,23
Azulejos y Baldosas	0,41	1,08	1,09	1,10	1,09	162,84	1,20	1,12	0,05	1,17	97,18
Industria Cerámica	4,31	6,10	6,43	6,61	6,38	48,05	7,18	6,68	0,13	6,81	94,72
Vidrio (sin fritas)	1,55	1,96	2,07	2,16	2,06	32,77	2,26	2,17	0,03	2,20	97,35
Fritas	0,22	0,53	0,56	0,60	0,56	151,49	0,70	0,63	0,05	0,68	96,43
Vidrio	1,78	2,48	2,63	2,76	2,62	47,75	2,96	2,80	0,08	2,88	97,13
Pasta de papel, papel y cartón	2,29	3,64	4,33	4,52	4,16	81,99	5,60	4,81	0,54	5,35	95,54
Subtotal Sectores Industriales	54,96	62,73	64,29	65,77	64,27	16,94	77,43	70,30	3,58	73,88	95,41
Total Comercio	119,17	152,11	148,15	164,32	154,86	29,95	169,83	154,86	5,42	160,28	94,38
Otras cogeneraciones		8,62		10,20				11,11	0,92	12,03	
Total emisiones España (MtCO ₂ -eq)	285,69	386,68	385,05	401,34	391,02	36,87					

Fuente: Real Decreto 1866/2004

A partir de la asignación anterior propuesta para el año 2006, podemos comprobar que en todos los sectores las asignaciones son inferiores a las peticiones y por tanto que en el caso español existe un ligero déficit de derechos de emisión. Esta situación ha creado y debe seguir creando conciencia del problema que supone cumplir con la limitación ya que las empresas que superen estos límites serán sancionadas. Algunas empresas han afrontado el problema modificando sus procesos productivos o utilizando procesos más limpios. Otras en cambio, pretenden afrontarlo mediante la adquisición de derechos.

4. COSTES DE APLICACIÓN DEL PROTOCOLO DE KIOTO

4.1 Estudios realizados

Han sido numerosos los modelos planteados para valorar el impacto que ocasiona el cumplimiento de los términos de Kioto, y más concretamente para poder valorar cuál será el coste de las emisiones de GEI que van a lanzarse al medio a partir de la entrada en vigor del Protocolo. El estudio de los costes que implica Kioto generalmente se ha llevado a cabo desde una perspectiva macroeconómica a través de dos vías. Una primera vía es analizando cuál debería ser el impuesto que grave el carbono y una segunda a partir de la pérdida de PIB que se produce de un período a otro. Del

mismo modo también existen varias técnicas para estimar cuáles serán los precios de las emisiones de carbono y en consecuencia para estimar los costes que supondrá la implementación del Protocolo, nos referimos a las proyecciones de emisiones “BAU” y a las curvas “MAC”.

4.1.1 Impuesto sobre el carbono

La magnitud del impuesto sobre el carbono ofrece una indicación aproximada de la cantidad de intervención del mercado que sería necesaria y es igual al coste marginal de la descontaminación para cumplir con una meta de emisiones prescrita. La magnitud del impuesto requerido para cumplir con una meta específica estará determinada por la fuente marginal de abastecimiento, que a su vez dependerá de factores tales como el volumen de las reducciones de emisiones necesarias, los supuestos acerca del coste y la disponibilidad de tecnologías basadas en el carbono y sin carbono, la base de recursos de combustibles de origen fósil y la elasticidad de los precios a corto y largo plazo.

En el informe presentado por el Grupo de Trabajo III del IPCC (2001) y cuyos resultados se detallan en el siguiente cuadro 3, se recoge uno de los estudios realizados para valorar el coste de mitigación de los GEI, éste consiste en un análisis comparativo de varios modelos en los que se aplican impuestos sobre el carbono para reducir las emisiones.

Cuadro 3. Principales resultados del estudio.
Costes marginales de la descontaminación (en dólares EE.UU. de 1990/tC; meta 2010 de Kioto)

Modelo	Sin comercio				Comercio Anexo I	Comercio mundial
	EE.UU.	OCDE-E	Japón	CANZ		
ABARE-GTM	322	665	645	425	106	23
AIM	153	198	234	147	65	38
CETA	168				46	26
Fund					14	10
G-Cubed	76	227	97	157	53	20
GRAPE		204	304		70	44
MERGE 3	264	218	500	250	135	86
MIT-EPPA	193	276	501	247	76	
MS-MRT	236	179	402	213	77	27
Oxford	410	966	1074		224	123
RICE	132	159	251	145	62	18
SGM	188	407	357	201	84	22
WorldScan	85	20	122	46	20	5
Administration	154				43	18
EIA	215				110	57
POLES	135.8	135.3	194.6	131.4	52.9	18.4
CANZ: Canadá, Australia y Nueva Zelanda						
Anexo I: este grupo lo forman todos los países desarrollados de la OCDE y los de economías en transición						

Fuente: Resumen presentado por el Grupo de Trabajo III del IPCC (2001)

Tal como anuncia el Grupo de Trabajo III los resultados de la modelización muestran considerables variaciones de un estudio a otro, que se explican por varios factores, algunos de los cuales reflejan las condiciones muy diferentes que prevalecen en los países estudiados (por ejemplo: dotación de recursos energéticos, el crecimiento económico, la intensidad de la energía, la estructura industrial y comercial).

A partir de estos resultados podemos comprobar que el comercio internacional de cuotas de emisión puede reducir los costes de la mitigación. Esto se producirá cuando los países con elevados

costes marginales nacionales de reducción de emisiones adquieren cuotas de emisión a los países con bajos costes marginales.

4.1.2 Pérdida en el PIB

La pérdida de PIB que experimenta un determinado país o bien un determinado sector económico se considera que es el equivalente a los costes de reducción de emisiones. Esta pérdida del PIB se argumenta, del siguiente modo, la ratificación de Kioto implica un aumento del coste energético y por lo tanto una disminución de la competitividad. Lo que ocasiona impactos negativos en la producción final, en el empleo y en las inversiones, produciéndose una disminución del PIB (Dissou et al. 2002).

Esta idea es muy discutida ya que desde una perspectiva más dinámica las empresas realizarán innovaciones para reducir sus emisiones y así hacer frente a las limitaciones de CO₂. Estas innovaciones pueden suponer un beneficio para las empresas que las incorporan porque les dan una ventaja competitiva frente a sus rivales. Los beneficios de esta forma de innovación -conocida como la hipótesis de Porter- son difíciles de cuantificar pero potencialmente importantes. Por tanto desde esta perspectiva las empresas tienen algo que ganar, más allá de reducir los costes directos de la política medioambiental.

Al igual que en los modelos planteados a partir del impuesto sobre el carbono, en este tipo de modelos los resultados también difieren unos de otros y en general podemos comprobar que la pérdida en el PIB se reduce a medida que se amplía el tamaño del mercado de emisiones.

Cabe decir, que la mayoría de los análisis económicos se han concentrado en los costes brutos de las actividades de emisión de carbono, ignorando el potencial de economía de costes de mitigar otros gases aparte del CO₂ y de usar el secuestro de carbono y no tomar en cuenta los beneficios medioambientales, tales como, co-beneficios, beneficios subsidiarios y cambio climático evitado; o bien el reciclado orientado de los ingresos; ni usar las rentas para eliminar distorsiones. De forma que incluir estas posibilidades podría reducir los costes.

Por co-beneficios se entienden otras justificaciones derivadas de la adopción de esas políticas como pueden ser objetivos de desarrollo, sostenibilidad, responsabilidad social, etc. En cambio, por beneficios subsidiarios entendemos aquellos efectos secundarios que pueden surgir posteriormente de las políticas de mitigación, como por ejemplo reducción del riesgo.

Otro tipo de coste adicional será el coste de implantación, es decir, los costes de cambiar las normas, la infraestructura necesaria, la formación del personal, etc.

Es por este motivo que a la hora de evaluar los costes que ocasionan las políticas de mitigación de gases que causan efecto invernadero (GEI) debemos considerar y definir claramente cada impacto, ya que generalmente, éstos llevarán consigo un coste asociado que deberemos valorar en unidades monetarias.

Existe un problema fundamental con las políticas de mitigación, y es que es más fácil identificar a los potenciales perdedores sectoriales que a los ganadores, ya que es probable que sus pérdidas sean más inmediatas, más concentradas y más seguras. Los potenciales ganadores sectoriales (a parte del sector de las energías renovables y quizás del sector del gas natural) sólo pueden esperar un beneficio pequeño, difuso y bastante incierto, distribuido en un período prolongado. En realidad, muchos de los que podrán obtener beneficios no existen todavía, son las generaciones del futuro y las industrias que aún tienen que desarrollarse. También está bien establecido que los efectos generales sobre el PIB de las políticas y medidas de mitigación, ya sean positivos o negativos, ocultan grandes diferencias entre sectores.

4.1.3 Precio de las emisiones

A la hora de cuantificar los precios de las emisiones, encontramos que existe un elevado número de variables que influyen sobre los mismos. Entre las más determinantes el estudio realizado por Price Waterhouse Coopers (2003) destaca: la liquidez del mercado, la tecnología de reducción de emisiones disponible, el comportamiento de agentes importantes, la claridad de las leyes y los reglamentos, el ahorro o atesoramiento de créditos y derechos “banking”, la conexión entre los sistemas de comercio de emisiones, la fungibilidad entre diferentes activos de carbono, el efecto barrera y la estructura financiera.

Haciendo una revisión bibliográfica del tema encontramos que la mayoría de modelos (modelos econométricos) utilizan dos supuestos básicos: por un lado las proyecciones de emisiones “BAU” (“*Business as Usual*”) que determinan las reducciones necesarias y la demanda de derechos de emisión y por el otro las estimaciones de las curvas de costes marginales de reducción de emisiones, las denominadas curvas “MAC” (“*Marginal Abatement Cost*”). Las proyecciones BAU se construyen a partir de proyecciones del PIB per cápita, del cambio tecnológico y estructural, y de la elasticidad de sustitución del carbono y la energía.

Además de los dos supuestos básicos descritos anteriormente existen otras variables que deben ser estimadas a la hora de construir los modelos, como por ejemplo reglas y comportamientos de los mercados, porcentaje y comercialización del “hot air”⁴, límites de importación, costes de transacción, entre otros.

Sin embargo, según manifiesta Ocaña (2003) estos modelos llevan consigo algunas limitaciones en el sentido que ningún modelo considera exactamente la situación que se va a dar en la Unión Europea regulada por la directiva 2003/87/CE del mercado de emisiones. Por ejemplo, ningún modelo analiza específicamente el caso en que el comercio de emisiones esté restringido a los seis sectores que cubre la directiva europea.

Haciendo un análisis exhaustivo de los principales modelos publicados⁵ (Ocaña, 2003), se extrae que el precio de la tonelada de CO₂ en el año 2010, oscila entre 0 y 24 US \$ de 1998 -con una media de 5 \$/Tm- para un modelo basado en un comercio de emisiones sin restricciones y entre 7 y 45 US \$ -media de 23 \$/Tm- para un modelo que asuma una serie de restricciones a terceros países. En este último escenario los resultados son muy heterogéneos debido a la variedad de restricciones que plantea cada uno de los modelos propuestos.

Otra vía alternativa de estudio que ha venido utilizándose para anticipar los precios de las emisiones es a través de las predicciones de expertos y mercados, éstas no tienen la transparencia y consistencia interna de los modelos econométricos pero, a cambio, incorporan una gama enorme de información cualitativa. Según estos trabajos⁶ las expectativas de precios oscilan entre los 4 y 6 € por tonelada de CO₂ durante el inicio del mercado de emisiones (año 2005), aumentado hasta los 10 € en el año 2010.

4.2 Cambio tecnológico

Entre las diferentes alternativas de actuación que pueden conducir a la disminución del impacto detectado sobre los sectores productivos, se encuentra, el realizar un esfuerzo en inversiones que permitan una reducción de los niveles de emisión, dicho de otra forma, en invertir en eficiencia energética y nuevas tecnologías. En este sentido, son numerosos los autores que incorporan el factor tecnológico para analizar los efectos de un control de emisiones: Goulder y Mathai (1998) investigan sobre la interrelación entre las políticas de reducción de emisiones y el cambio tecnológico, de forma que estas políticas afectan al precio de las emisiones y este efecto incentiva las inversiones en

investigación y desarrollo; Anderson (1999) investiga sobre las respuestas tecnológicas que se derivan de las diferentes políticas medioambientales, y afirma que el progreso técnico lleva consigo reducciones de costes ligados a actuaciones de reducción de emisiones. Grubb (2000) propone estudiar el coste tecnológico a partir de un modelo que define una función acumulativa de inversiones en tecnología.

Las innovaciones tecnológicas pueden clasificarse en:

Radicales, se refieren a aplicaciones fundamentalmente nuevas de una tecnología, o combinación original de tecnologías conocidas que dan lugar a productos o procesos completamente nuevos.

Incrementales, son aquellas que se refieren a mejoras que se realizan dentro de la estructura existente y que no modifican sustancialmente la capacidad competitiva de la empresa a largo plazo.

Siguiendo la senda de esta clasificación, podemos llegar a distinguir entre cambio tecnológico exógeno y cambio tecnológico inducido. El cambio tecnológico exógeno incluye la aplicación de nuevas tecnologías en los procesos productivos pero sin modificar dichos procesos, de forma que se verá modificada la productividad del sector aunque no variarán las emisiones en relación con el volumen de producción. En cambio, incorporando un cambio tecnológico inducido, se modifican los procesos productivos y esto implica una variación a la baja del ratio emisiones/volumen de producción.

Dicho de otra forma el cambio tecnológico inducido permite substituir un *input*, por ejemplo energía, cuyo precio haya sido al alza debido a los efectos que produce sobre el cambio climático, por otros *inputs* como personal o capital que no tengan un efecto tan negativo sobre el mismo. (Nordhaus, 1999); (Goulder and Schneider, 1999); (Gerlagh et al. 2002).

Investigaciones recientes sugieren que el efecto sobre los costes depende de la fuente del cambio tecnológico. Cuando el canal del cambio tecnológico es la I+D, el cambio tecnológico inducido hace preferible concentrar más esfuerzos de descontaminación en el futuro. La razón es que el cambio tecnológico disminuye los costes de la futura reducción de emisiones en relación con la actual, haciendo más rentable poner más énfasis en dicha futura reducción. Pero cuando el canal del cambio tecnológico es el aprendizaje por la experiencia (*learning-by-doing*), la presencia del cambio tecnológico inducido tiene un impacto ambiguo sobre la oportunidad óptima de la reducción de emisiones, lo cual sugiere que se ponga el acento en las actividades de reducción de emisiones en el futuro (Goulder y Mathai, 1998).

Una tercera fuente que impulsa el cambio tecnológico, propia de las economías modernas, es a partir de la transferencia de tecnología a través de la inversión extranjera directa, bajo este concepto se produce una ganancia en productividad local para los países receptores, a través de los beneficios de economías externas, son los llamados "*spillovers*".

En este apartado nos ha parecido necesario reflejar los resultados del estudio realizado por Buonanno et al. (2003), bajo los tres escenarios de desarrollo tecnológico comentados anteriormente, y a la vez, bajo tres supuestos de comercio de emisiones, es decir, un primer supuesto sin considerar la existencia de comercio de emisiones, un segundo supuesto considerando que existe un comercio de emisiones entre aquellos países que integran el Anexo I y, un tercer supuesto considerando la existencia de un comercio global de escala mundial.

Se aprecia un incremento de los costes totales derivados del cumplimiento de Kioto a medida que se incorpora desarrollo tecnológico inducido y más aún a medida que se incorporan "*spillovers*". Del mismo modo, también podemos comprobar que el coste disminuye a medida que se amplía el

ámbito del comercio de derechos. Aunque el estudio fue realizado para seis países o regiones diferentes, nosotros hemos reflejado exclusivamente los resultados en Europa.

Cuadro 4: Coste promedio total del cumplimiento de Kioto para el período 2010-2100

Cambio técnico	Opciones políticas	Trillones de \$ US de 1990
Cambio tecnológico endógeno	Sin comercio	0.512
	Comercio restringido a países del Anexo I	0.500
	Comercio global	0.387
Cambio tecnológico endógeno + Cambio tecnológico inducido	Sin comercio	0.549
	Comercio restringido a países del Anexo I	0.513
	Comercio global	0.380
Cambio tecnológico endógeno + Cambio tecnológico inducido + spillovers	Sin comercio	0.583
	Comercio restringido a países del Anexo I	0.558
	Comercio global	0.408

Fuente: Buonanno et al. (2003)

5. UNA PROPUESTA DE CÁLCULO DE COSTES PARA LAS EMPRESAS ESPAÑOLAS.

Ya hemos comprobado en apartados anteriores que para calcular el coste que implica cumplir con el Protocolo de Kioto existen diferentes modelos. Esto se debe, entre otras razones, al hecho que para cumplir con los acuerdos marcados por Kioto se puede optar entre diferentes opciones políticas. En dichos modelos se pretende demostrar que los mecanismos de Kioto al ser flexibles, y permitir optar a un mercado de derechos de emisión, reducen los costes derivados de la regulación sin por ello reducir la eficacia de la política climática, aunque la mayoría de las veces se piense lo contrario (Carraro, 2000). Esta idea es debido a la opinión generalizada que al existir flexibilidad (mercado de derechos de emisión) se reducen los incentivos de llevar a cabo actuaciones de I+D, y por consiguiente se reduce la eficiencia aumentando los costes de reducción a largo plazo.

Nuestro objetivo, como ya hemos indicado en el apartado de introducción, es el de proponer una función de costes para cada una de las diferentes alternativas en desarrollo tecnológico y bajo la existencia del mercado de derechos de emisión, el cual permitirá a las empresas comprar o vender el déficit o excedente, respectivamente, de los derechos.

Para ello, planteamos un modelo para calcular cuál es el coste que supone, para las empresas de un determinado sector de actividad, el hecho de cumplir con los límites de Kioto. Este modelo se plantea desde diferentes perspectivas en cuanto al desarrollo tecnológico que presenta el sector objeto del estudio y para una región dada y bajo diferentes modelos de mercados de derechos de emisión.

Definimos la función de costes sujeta a una determinada producción, y compuesta por diferentes factores, tales como, capital, empleo, energía, materiales, nivel de *output* y límites de emisiones atmosféricas.

Expresamos dicha función de costes del modo siguiente:

$$C = C(P_K, P_L, P_E, P_M, Y, E) \quad (1)$$

Donde C representa el coste total de producción; P_K , P_L , P_E y P_M serán los precios de los correspondientes *inputs* utilizados: capital, empleo, energía y materiales; Y representa en nivel de producción, es decir la cantidad de *output*. Por último, E hace referencia al nivel estándar de emisiones o límite de emisiones en los casos en que se establezca limitación.

El paso siguiente sería calcular la elasticidad del coste total respecto a cambios en los límites de emisiones, para ello proponemos calcular la variación del coste respecto al nivel de emisiones ($\partial C/\partial E$).

Para determinar los datos referidos al nivel de emisiones nuestro modelo parte del estudio realizado anteriormente por Buonanno et al.(2003), a partir del cual se cuantifica el volumen de las emisiones bajo diferentes escenarios de desarrollo tecnológico. Y por lo que se refiere al precio de cada tonelada de CO₂ lo fijaríamos a partir de estudios realizados y bajo diferentes hipótesis de mercado de emisiones.

Para trabajar la función antes indicada, utilizamos una función de costes del tipo translogarítmica, ya que ésta nos permite considerar el hecho de que existan economías de escala, considerar que frente a una variación en el precio relativo de un *input*, éste sea substituido por otro y además interacciona los diferentes *inputs* con el volumen de *output*. Además dicha función nos permite incorporar un parámetro que será variable en función del nivel tecnológico conseguido para cada sector empresarial y en un periodo de tiempo determinado. La inclusión de esta variable se debe, tal como se demuestra en numerosos estudios (Buonanno et al. 2003), (Khanna, 2000), (Goulder y Mathai, 1999) a que el coste de cumplimiento del protocolo de Kyoto depende en gran medida del nivel tecnológico alcanzado para cada sector empresarial en particular y para cada región en general.

En el estudio realizado por Buonanno et al.(2003) se consideran tres situaciones de desarrollo tecnológico diferentes.

En primer lugar se analiza el efecto que tiene el protocolo de Kioto bajo una situación de desarrollo tecnológico endógeno pero con un cambio tecnológico medioambiental exógeno, de manera que el avance tecnológico modifique la productividad del sector, mejorándola, sin que este desarrollo tecnológico provoque un desarrollo tecnológico propiamente medioambiental. Además se caracteriza por el hecho de incluir el estoc del conocimiento en la función de producción y consecuentemente en la función de costes. La idea de incluir el estoc del conocimiento como un factor productivo que forma parte de la función de producción y además mejora el ratio de productividad, podemos considerar que surge con Griliches (1979, 1984)⁷.

También se caracteriza por relacionar el estoc del conocimiento con las inversiones en I+D del sector, de forma que si estas inversiones aumentan, el estoc del conocimiento se verá ampliado.

Un segundo escenario considera que además de desarrollo tecnológico endógeno, existe también un cambio tecnológico medioambiental inducido, en el cual el estoc del conocimiento también afecta al ratio emisiones-*output*. Bajo este escenario el estoc del conocimiento puede incrementarse vía I+D o bien a través del aprendizaje, como ya hemos visto en el apartado anterior al hablar del estudio realizado por los autores Goulder y Mathai (1999). Sin embargo, nosotros en el presente trabajo planteamos el modelo centrándonos en un desarrollo tecnológico vía I+D.

Y finalmente, un tercer escenario donde además de las dos situaciones anteriores también exista un trasvase de conocimiento tecnológico a nivel internacional o *spillovers*, característica propia de las economías modernas.

La expresión matemática de E, nivel estándar de emisiones, correspondiente a estas tres situaciones y que nos permitirá calcular el coste que supone llegar a cada uno de estos niveles de emisiones (C(E)), será la siguiente:

a) Cambio tecnológico endógeno sin cambio tecnológico medioambiental inducido

$$E(n, t) = \sigma(n, t)[1 - \mu(n, t)]Q(n, t)$$

Donde n hace referencia a un sector de actividad o bien a una empresa concreta, σ se define como el ratio de emisiones/output, μ será un coeficiente de reducción de emisiones y Q (n,t) será la función de producción.

b) cambio tecnológico endógeno y cambio tecnológico medioambiental inducido

$$E(n,t) = \left[\sigma_n + \chi_n \exp(-\alpha_n K_R(n,t)) \right] [1 - \mu(n,t)] Q(n,t)$$

En esta ecuación añadimos K_R para representar el estoc del conocimiento, el cual permite reducir el nivel de emisiones, siendo el parámetro α_n definido como el coeficiente de elasticidad a partir del cual el estoc del conocimiento reduce el ratio emisión/output. Y χ_n que hace referencia a un coeficiente de escala de medida.

c) trasvase de conocimiento tecnológico a nivel internacional

$$E(n,t) = \left[\sigma_n + \chi_n \exp(-\alpha_n K_R(n,t) - \theta_n MK_R(n,t)) \right] [1 - \mu(n,t)] Q(n,t)$$

siendo MK_R es estoc del conocimiento mundial

$$MK_R(j,t) = \sum_{j \neq i} K_R(i,t)$$

de forma que no se incluye el conocimiento propio.

Otra forma de analizar el avance tecnológico que presenta un determinado sector, es el propuesto por Khanna (2001) a partir del ratio marginal de sustitución entre dos *inputs* diferentes, de manera que si comparamos las elasticidades de la producción respecto a un determinado *input* i o j , podamos decidir cuál de los dos resulta más productivo⁸.

Hasta el momento no hemos tratado el hecho de que exista un mercado de derechos de emisiones formado por aquellos países que han ratificado el acuerdo y el cual fijará un precio de mercado por tonelada de CO_2 que se expulsa a la atmósfera. Tal como hemos podido comprobar anteriormente, el precio al que valorar las emisiones de carbono difiere mucho según el modelo que se utiliza para su cálculo, sobretodo bajo el supuesto de no existir comercio internacional de emisiones. En el caso de existencia de comercio la variación entre modelos no es tan amplia.

Bajo la perspectiva de que exista un mercado de emisiones, también podemos considerar varias posibilidades: en primer lugar que se trate de un mercado comunitario formado por los países de la UE (previsto a partir del año 2005); en segundo lugar que el mercado se extienda a aquellos países pertenecientes al anexo I (previsto a partir del año 2008), y en tercer lugar, bajo la hipótesis de un mercado global.

De manera que el coste de las emisiones bajo las diferentes situaciones de desarrollo tecnológico y de mercado será⁹:

$$C(E) = E(n,t) p_m + \int_0^{\infty} p(I_t) I_t e^{-rt} dt$$

donde P_m es el precio de cada derecho de emisión para diferentes situaciones de mercado ($m=1, \dots, 3$);

y la expresión $\int_0^{\infty} p(I_t) I_t e^{-rt} dt$ será la suma actualizada del coste total de la inversión total en I+D

destinadas a reducir el nivel de emisiones desde el momento 0 a ∞ , siendo r el precio nominal estricto de mercado.

El paso siguiente será estimar una elasticidad del *output* (Q) para cada factor de *input*, para ello utilizaremos la función translogarítmica a partir de la función inicial de costes (1), de forma que nos permita estimar las elasticidades de sustitución de cada factor individual y a su vez las elasticidades de

sustitución entre pares de *inputs* complementarios. Su especificación matemática toma la siguiente forma:

$$C = \exp(\beta_0 + \sum_i \beta_i \ln P_i + \beta_Y \ln Y + \beta_E \ln E + \frac{1}{2} \sum_i \sum_j \gamma_{ij} \ln P_i \ln P_j + \sum_i \gamma_{iY} \ln P_i \ln Y + \sum_i \gamma_{iE} \ln P_i \ln E + \frac{1}{2} \gamma_{YY} (\ln Y)^2 + \gamma_{YE} \ln Y \ln E + \frac{1}{2} \gamma_{EE} (\ln E)^2)$$

donde $i, j \in (K, L, E, M)$

sujeto a : $\beta_K + \beta_L + \beta_E + \beta_M = 1$ (*)

$$\sum_i \gamma_{ij} = 0$$

$$\sum_j \gamma_{ij} = 0$$

$$y \quad \gamma_{ij} = \gamma_{ji}$$

(*) Esta restricción se impone para garantizar que cuando el precio de un *input* varíe en un determinado porcentaje el coste total también incremente con el mismo porcentaje.

El subíndice n , ya lo hemos definido con anterioridad y hace referencia a un sector de actividad concreto para el cual proponemos el cálculo.

Además Khanna (2001) considera que la elasticidad total del *output* resulta de la suma de cada elasticidad individual.

Finalmente obtendremos el valor de la derivada parcial del coste respecto a E :

$$\frac{\partial C}{\partial E} = \beta_E + \sum_i \gamma_{iE} \ln P_i + \gamma_{YE} \ln Y + \gamma_{EE} \ln E$$

y el valor de la elasticidad: $\left(\frac{\partial C}{\partial E} \frac{E}{C} \right)$ es decir la elasticidad del coste total respecto al coste de emisión.

De forma que si el resultado es menor que la unidad estamos frente a un coste inelástico respecto al coste de emisión y si el resultado es mayor que la unidad diremos que se trata de un coste elástico respecto al coste de emisión, es decir, que frente a una variación por pequeña que sea del coste de E , los efectos sobre el coste total serán notables.

6. CONCLUSIONES

El Cambio Climático debe abordarse no sólo como una cuestión medio ambiental sino también como una oportunidad económica, ya que puede suponer para las empresas un medio de adquirir ventajas competitivas a largo plazo. Ahora bien, las empresas necesitan un marco de compromiso a nivel internacional porque de lo contrario podría suponer un agravio comparativo respecto a otros países. A la vez que, las políticas y medidas que se tomen a nivel público deben ampliarse a todos los sectores económicos y no restringirlas únicamente a unos sectores concretos. Los sectores están interrelacionados entre ellos y las políticas concentradas en unos pocos pueden representar un incremento de costes indirectos sobre los demás.

También cabe decir que cuanto mayor sea el número de países implicados en el comercio de derechos, menor será el precio de mercado de los mismos debido a que participarán países con amplios excedentes de emisiones.

Otra conclusión a la que llegamos es que la puesta en funcionamiento del mercado de emisiones condiciona de forma decisiva el desarrollo tecnológico y medioambiental de las empresas. El cambio tecnológico es la pieza fundamental del coste que implica Kioto para las empresas y en consecuencia el tipo de cambio tecnológico que se elija puede hacer variar dicho coste. Las innovaciones pueden suponer un beneficio para las empresas que las incorporan porque les da una ventaja competitiva frente a sus rivales. También comprobamos que el hecho de modificar los procesos productivos, vía desarrollo, a su vez lleva consecuencias implícitas sobre la función de coste total de las empresas, ya que además de reducir el volumen de emisiones de CO₂ y por consiguiente reducir el coste que deberá pagarse por ellas, provoca un cambio en la composición de *inputs* que causarán efectos sobre dicha función. En consecuencia corroboramos la hipótesis de considerar el coste de producción total un coste elástico respecto al coste de emisión.

BIBLIOGRAFÍA

- ANDERSON, D. (1999): "Technical progress and pollution abatement an economic view of selected technologies and practices", *Environment and Development Economics*.
- ASAMBLEA GENERAL DE LAS NACIONES UNIDAS (1997): Programa para la continuidad de la aplicación de la Agenda 21.
- BANCO CENTRAL DE COSTA RICA (1996): "Estimación de una función de producción: Caso de Costa Rica", Departamento de Investigaciones Económicas, Documento de trabajo DIE-PI-06-95/R.
- BOYD, R. e IBARRARÁN, M. E. (2002): "Cost of compliance with the Kyoto Protocol: a developing country perspective", *Energy Economics*, 24, pp.21-39.
- BUONANNO, P. CARRARO, C. y GALEOTTI, M. (2003): "Endogenous induced Technical Change and the Cost of Kyoto", *Resource and Energy Economics*, (25)1, pp.11- 34.
- CARRARO, C. (2000): "Efficiency and Equity of Climate Change Policy". Kluwer Academic Publishers. Dordrecht.
- COMISIÓN DE LAS COMUNIDADES EUROPEAS (2003): Comunicación de la Comisión
- CHRATTENHOLZER, L. (2002): "Endogenous technological change in climate change modelling", *Energy Economics*, 24, pp.1-19.
- DECISIÓN DEL CONSEJO 2002/358/CE (2002)
- DISSOU, Y.; MAC LEOD, C. y SOUISSI, M. (2002): "Compliance costs to the Kyoto Protocol and market structure in Canada: a dynamic general equilibrium analysis", *Journal of Policy Modeling*, 24, pp.751-779.
- GENERALITAT DE CATALUNYA, Departament de Mediambient (1998): "La política internacional contra el canvi climàtic", Cimeras de Río de Janeiro, Kyoto y Buenos Aires.
- GOULDER, L. H. y SCHNEIDER, S. (1999): "Induced technological change and the attractiveness of CO₂ abatement policies", *Energy Economics*, 21, pp. 211-253.
- GOULDER, L. H. Y MATHAI, K. (2000): "Optimal CO₂ Abatement in the Presence of Induced Technological Change", *Journal of Environmental Economics and Management*, 39, pp.1-38.
- GRILICHES, Z. (1979): "Issues in assessing the contribution of R&D to productivity growth", *Journal of Economics*, 10, pp. 92-116.
- GRILICHES, Z. (1984): "R&D, Patents and Productivity", University of Chicago Press.
- GRUBB, M. (2000): "Economic dimensions of technological and global responses to the Kyoto Protocol", *Journal of Economics Studies*, (1,2)27, pp.111-125.
- Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC) (2001): *Cambio Climático 2001: Mitigación*, http://www.grida.no/climate/ipcc_tar.
- KHANNA, N. (2001): "Analyzing the economic cost of the Kyoto protocol", *Ecological Economics*, 38, PP.59-69.
- MARTÉN, I.; BAEZA, R.; LÓPEZ, D. y MOLLEDA, J.A. (2004): "El reto de Kioto: mitos y realidades", *Universia Business Review- Actualidad Económica*, 2, PP.118-13S.
- Ministerio de Medio Ambiente (2004): *Medio Ambiente y Políticas intersectoriales. Estrategia frente al Cambio Climático*.

- NORDHAUS, W.D. (1999): "Modelling induced innovation in climate-change policy", Paper Presented at the IIASA Workshop on Induced Technological Change and the Environment, Luxemburgo.
- OCAÑA, C. (2003): "El impacto del Protocolo de Kyoto sobre la economía española", www.catedrasamca.unizar.es/archivos/OCANA-emisiones.pdf.
- PALTSEV, V. (2001): "The Kyoto protocol: Regional and Sectoral Contributions to the Carbon Leakage", *Energy Journal* (4) 22, pp.53-80.
- Parlamento Europeo y Consejo de la Unión Europea (2003): Directiva 2003/87/CE del Parlamento Europeo y del Consejo.
- Practica Medio Ambiente, Abogados y Consultores (1999): "Retos y oportunidades del comercio de derechos de emisión", <http://www.fundacionentorno.org>
- PriceWaterhouse Coopers (2003): "Efectos de la aplicación del Protocolo de Kioto en la economía española", <http://www.pwglob.com/es/esp>
- Real Decreto 1866/2004 de 6 de septiembre.
- Real Decreto-ley S/2004 de 27 de agosto
- JOSHI, S.; KRISHNAN, R. y LAVE, L. (2001): "Estimating the Hidden Costs of Environmental Regulation", *The Accounting Review*, 76 (2), pp.171-198.
- UNFCCC (2004): "Synthesis and assessment report on the greenhouse gas inventories submitted in 2004", <http://unfccc.int/resource/ghg/tempemis2.html>
- WEYANT, J.P. (1997): "Technological change and climate policy modelling", Paper Presented at the IIASA Workshop on Induced Technological Change and the Environment, Luxemburgo.
- WEYANT, J.P. y OLAVSON, T. (1999): "Issues in modelling induced technological change in energy, environmental and climate policy", *Environmental Modelling and Assessment*, 4, pp. 67-85.

CITAS

- ¹ Estos gases son el dióxido de carbono (CO₂), metano (CH₄), óxido nitroso (N₂O), hidrofluorocarbonos (HFC_s), perfluorocarbonos (PFC_s) y hexafluoruro de azufre (SF₆).
- ² Hasta el momento dicha directiva se limita a las actividades energéticas, producción y transformación de metales férreos, industrias minerales e industrias dedicadas a la fabricación de papel y cartón. Tal como establece el anexo I de la directiva 2003/87/CE.
- ³ El derecho de emisión es definido según la directiva 2003/87/CE como el derecho a emitir una tonelada equivalente de dióxido de carbono durante un período determinado.
- ⁴ El denominado "hot hair" es el superávit de derechos del que dispondrían los países del grupo de las Economías en Transición por haber sufrido un importante descenso de la actividad económica desde 1990.
- ⁵ Se trata de modelos posteriores a los acuerdos de Bonn y Marrakesh, en los que EEUU no participa en el Mercado de Emisiones. Estos son: POLES-ASPEN, ZEW, CERT ABARE, MERGE, CICERO y CERT EPPA
- ⁶ Se trata de encuestas realizadas por las empresas Natsource (2002); Point Carbon (2003); Consultora ICF (2002); Lecocq y Capoor (2002); Dresdner Bank y la Comisión Europea.
- ⁷ Podemos considerar dicho autor como pionero en la propuesta, posteriormente será tratado por numerosos autores, entre ellos, Weyant, 1997; Goulder and Schneider, 1999; Weyant and Olavson, 1999
- ⁸ Khanna (2001) realiza es siguiente cálculo:

$$predisposición_{i,j} = \left(\frac{\beta_{i\tau}}{\eta_i} - \frac{\beta_{j\tau}}{\eta_j} \right) \begin{matrix} \geq 0 \\ \leq 0 \end{matrix}$$

siendo τ la tendencia de cambio tecnológico, $\beta_{i\tau}$, $\beta_{j\tau}$ la relación entre del cambio de un *input* i o j y el cambio tecnológico en general y η_i , η_j las elasticidades de la producción respecto al mismo *input* i o j . De manera que si el resultado es positivo estamos considerando que el cambio tecnológico estará dirigido a potenciar el factor i y por el contrario si el resultado es negativo será más interesante potenciar el factor j . Este cálculo deberá repetirse para todas las posibles combinaciones dos a dos.

- ⁹ El PNA establece una determinada cantidad de emisiones exenta o libre de coste de forma que este coste estará formada exclusivamente por aquellas cantidades de emisiones que sobrepasen la cantidad exenta.

Anna Tena Tarruella



Licenciada en Ciencias Económicas y Empresariales por la Universidad de Barcelona (España). Profesora en el área de Economía Financiera y Contabilidad de la Universidad de Lleida, impartiendo docencia en Contabilidad de Costes. Miembro del grupo de investigación “Proximidad económica de las empresas de la Unión Europea. Aspectos Financieros y de Mercado” formado por profesores de las Universidades de Lleida y de Zaragoza. Ha participado en proyectos de investigación financiados por la Universidad de Lleida, la Diputación de Lleida y la unión Europea. Miembro de la Asociación Española de Contabilidad y Administración de Empresas (AECA). Ha publicado varios capítulos en libros, así como artículos en revistas nacionales de contabilidad y numerosas comunicaciones en congresos nacionales e internacionales.